

DME som förnybart drivmedel till jordbruket

- En studie i möjligheten att ersätta fossil diesel i jordbruksmaskiner med DME från bio-baserad råvara

DME as renewable fuel for agriculture

- A study of the possibility to replace fossil diesel in agriculture machines with DME from bio-based resources

Johan G. Aronsson



DME som förnybart drivmedel till jordbruket

- En studie i möjligheten att ersätta fossil diesel i jordbruksmaskiner med DME från bio-baserad råvara

DME as renewable fuel for agriculture

- A study of the possibility to replace fossil diesel in agriculture machines with DME from bio-based resources

Författare: Johan G. Aronsson

Handledare: Helena Karlén, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Btr handledare: Thomas Prade, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Examinator: Sven-Erik Svensson, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i trädgårdsvetenskap, G2E

Kurskod: EX0844

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör: odling – kandidatprogram

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2020

Omslagsbild: Johan Gundberg Aronsson

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Dimetyleter, biodrivmedel, bioDME, "well-to-wheel", fossilfritt, jordbruk, odling, hållbart, beredskap, livsmedelsförsörjning.

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för biosystem och teknologi

Förord

Stor tack till anställda vid SLU Alnarp, handledare Helena Karlén, biträdande handledare Thomas Prade och bibliotekarie Åsa Ode för ert stöd. Tack till Per Hanarp och Henrik Salsing vid Volvo. Tack till Serina Ahlgren, vid forskningsinstitutet RISE.

Denna kandidatuppsats vid SLU Alnarp är skriven på eget bevåg. Under tre års studier har förundran växt fram över hur det svenska jordbruket ska kunna fortsätta att leverera mat och andra råvaror i en värld utan fossila drivmedel. Många avgränsningar resulterade i en uppsats om dimetyleter, förkortat DME, en brandfarlig gas som kan driva dieselmotorer. Intresset för DME kom efter att ha läst rapporten "Konvertering av biogas till metanol och DME på gårdsnivå" av Johansson och Hanarp (2013).

2019, den 16-åriga klimataktivisterna Greta Thunberg blir utsedd till *TIME's person of the year*, mitt under pågående kandidatuppsats. EU har utlyst nödläge för klimatet. Sverige har ökat sina utsläpp av växthusgaser det senaste året med nästan 1 % och världens regnskogar försvinner snabbare. 2018 slog civilisationen nya rekord med över 94 miljoner fat olja producerade per dag. Målet att hålla jordens temperaturhöjning på max 1,5 grader ser allt mörkare ut. Forskare är eniga om att det går, om än väldigt svårt, att slippa undan 2 graders global uppvärmning. Säkerhetsläget kring Sveriges gränser beskrivs mer ansträngt och myndigheten för samhällsskydd och beredskap producerar nya rapporter om hur den svenska beredskapen måste öka.

Jordbruket står för stora delar av de svenska utsläppen av växthusgaser och är beroende av fossila drivmedel för att kunna utföra nödvändiga arbetsinsatser för att producera livsmedel. Om Sverige ska bli fritt från utsläpp från fossila bränslen krävs en omställning av jordbruket mot någon form av alternativ energikälla. Jordbruket har dessutom möjlighet att producera energi av både grödor, gödsel eller av biomassa som ofta klassas som restavfall. Jordbruket kan ses som huvudinnehavare av Sveriges biomassa, och borde därför ha stor möjlighet att dra nytta av denna biomassa för att göra sin egen bransch klimatneutral och långsiktigt hållbar. Tanken på ett jordbruk självförsörjande på förnybara drivmedel kittlar i magen, men är det bara en utopisk idé utan någon form av rationell verklighetsförankring? Ett jordbruk självförsörjande på drivmedel säkerhetsställer inte bara drivmedelsproduktion utan också energi-, virkes- och livsmedelsproduktionen i kris och krig.

Inget annat övertygar mig mer än att valet av ämne var rätt i tiden och min absoluta förhoppning är att min uppsats kommer till användning i diskussionen. Men en kandidatuppsats är trots allt väldigt kort, och det fanns såklart mer att skriva om och undersöka kring DME.

Johan G. Aronsson
Alnarp, 2020

Summary

Sweden has set targets for net emissions from fossil fuels to be gone by 2045 and much must be done for Sweden to achieve this goal. It can be concluded that Sweden is making fast changes to replace fossil fuels and has already reached a level of 23 % bio-based components in fuels in general, the highest level amongst the countries in the European Union. Today, biofuels are mostly imported, but there are still great numbers of unused resources in Sweden, that with a potential low climate impact can become biofuels. Many studies have come to the conclusion that the bioenergy potential in Sweden is high.

This thesis has examined literature on the Swedish agriculture's demand for diesel fuel. The main focus was on DME as a fuel and DME-production from renewable resources. Furthermore, potential for volumes were investigated. Energy balances, thermal efficiency and the lifecycle principal "Well-to-wheel" were analyzed. The essay also discusses DMEs relations to other biofuels. DME can with wide margin fill the demand from the Swedish agriculture sector with fuel and furthermore provide fuel for parts of other sectors. The costs for a conversion to DME instead of fossil diesel are unclear and need to be further evaluated. This study has shown that Sweden has enough biomass to provide the agriculture sector with DME produced in Sweden. The costs are still unclear, but reduction in the net emissions of greenhouse gases is high. From a preparedness perspective DME is a perfect candidate to ensure that the Swedish agriculture sector will be provided with energy during a potential crisis. DME could be the grand solution for the Swedish agriculture sector's future energy supply.

Sammanfattning

Sverige har satt som mål att nettoutsläpp från fossila bränslen ska vara borta till 2045 och mycket behöver göras för att Sverige ska uppnå det målet. Det går att konstatera att Sverige går snabbt framåt med att byta ut fossila bränslen i fordon och har redan nått en nivå på 23 % biokomponenter i drivmedel, den högsta nivån bland länderna i Europeiska Unionen. Biodrivmedel importeras idag i hög grad samtidigt som det finns stora outnyttjade resurser i Sverige som med potentiell låg klimatpåverkan kan bli biodrivmedel. Flera studier kommer fram till att bioenergipotentialen i Sverige är stor.

Studien har undersökt litteratur kring det svenska jordbrukets behov av dieselolja. Tyngden fokuseras på DME som drivmedel och DME produktion från förnyelsebar råvara. Vidare har potentiella volymer undersökts. Energibalanser, verkningsgrad och livcykelprincipen "Well-to-wheel" analyserades. Uppsatsen diskuterar även till viss del DME i förhållande till andra biodrivmedel. Sverige kan genom produktion av DME med god marginal förse det svenska jordbruket med drivmedel och med möjlighet utöver detta, även tillgodose delar av andra sektorers drivmedelsbehov. Kostnaderna för en omställning till DME istället för fossil diesel är oklara och behöver undersökas mer. Studien har visat att Sverige innehar tillräckligt med biomassa för att förse jordbruket med svenskproducerad DME. Kostnaden är oklar, men reduceringen av nettoemissionerna av växthusgaser är hög. Ur ett beresperspektiv är en satsning på DME en utmärkt kandidat för att det svenska jordbruket kan förse med energi vid en potentiell kris. DME kan vara *the grand solution*, den stora lösningen för det svenska jordbrukets framtida försörjning av fossilfria drivmedel.

Innehållsförteckning

Förkortningar	6
1 Introduktion	7
1.1 Riksdagsbeslutet och jordbruket	7
1.2 Maskinernas intåg på åkern.....	8
1.4 Syfte och frågeställning.....	10
2 Metod	10
3 Resultat	11
3.1 Energi och förbrukning av drivmedel	11
3.1.1 Jordbrukets energianvändning.....	11
3.1.2 Biodrivmedel och biokomponenter idag.....	12
3.1.3 1:a och 2:a generationens biodrivmedel.....	13
3.2 DME, biogas och syngas.....	14
3.2.1 DME – kemi och ursprung	14
3.2.2 Biogas – kemi och ursprung	15
3.2.3 Syngas – kemi och ursprung.....	15
3.2.4 DME – produktion från förnyelsebart	15
3.2.5 DME – som drivmedel	16
3.3 Potential och miljönytta.....	17
3.3.1 Biomassapotentialet i Sverige	17
3.3.2 "Well-to-wheel" principen	18
3.3.3 Biprodukter vid DME produktion	19
3.3.4 Konventionellt, ekologiskt eller biointensiv odling	19
3.4 Beräkningar.....	21
4 Diskussion	23
5 Slutsats.....	27
6 Referenslista.....	28
6.1 Referenser	28
6.2 Icke publicerat material	37

Förkortningar

Förkortning	Engelska	Svenska
DME	Dimethyl eter	Dimetyleter
FAME	Fatty acid methyl ester	Fettsyrametylester
FAD	Fatty acid diesel	Fettsyra diesel
RME	Rapeseed methyl ester	Rapsmetylester
HVO	Hydrogenated vegetable oil	Hydrogenerad vegetabilisk olja
PFAD	Palm fatty acid distillate	Palm fettsyra destillat
FT-diesel	Fischer-Tropsch diesel	Fischer-Tropsch diesel
BTL	Biomass to Liquids	Biomassa till vätska
GTL	Gas to Liquids	Gas till vätska
CO ₂	Carbon dioxide	Koldioxid
NO _x	Nitrogen oxides	Kväveoxider
CH ₄	Methane	Metan
CO	Carbon monoxide	Kolmonoxid
MJ	Megajoule	Megajoule
TWh	Terawatt-hour	Terawattimmar

DME – förkortning för **dimetyleter**, ibland används bioDME för att poängtera att DME producerats med förnybara råvaror. Kan användas som bränsle i dieselmotorer.

Biodiesel – kallas drivmedel av typen **FAME**, som t.ex. **RME**. Kan användas som bränsle i dieselmotorer.

HVO – Förnybar diesel av typen hydrogenerad vegetabilisk olja. Kan användas som bränsle i dieselmotorer.

Metan - den simplaste formen av kolväten. Har ett högt energiinnehåll och kan användas för att producera värme och el eller användas som drivmedel i otto- eller dieselmotorer.

Naturgas - gas från fossila gasfyndigheter, innehåller höga halter **metan**.

Biogas- gas från anaerob nedbrytning av biomassa, innehåller höga halter **metan**.

CNG – förkortning för komprimerad naturgas, naturgas under högt tryck, och är detsamma som fordonsgas och kan bestå av både biogas (**CBG** – komprimerad biogas) och naturgas i olika proportioner. Kan användas som bränsle i ottomotorer eller som dual-fuel i dieselmotorer.

SNG – Substitute natural gas, syntetisk naturgas, naturgas framtagen genom förgasning.

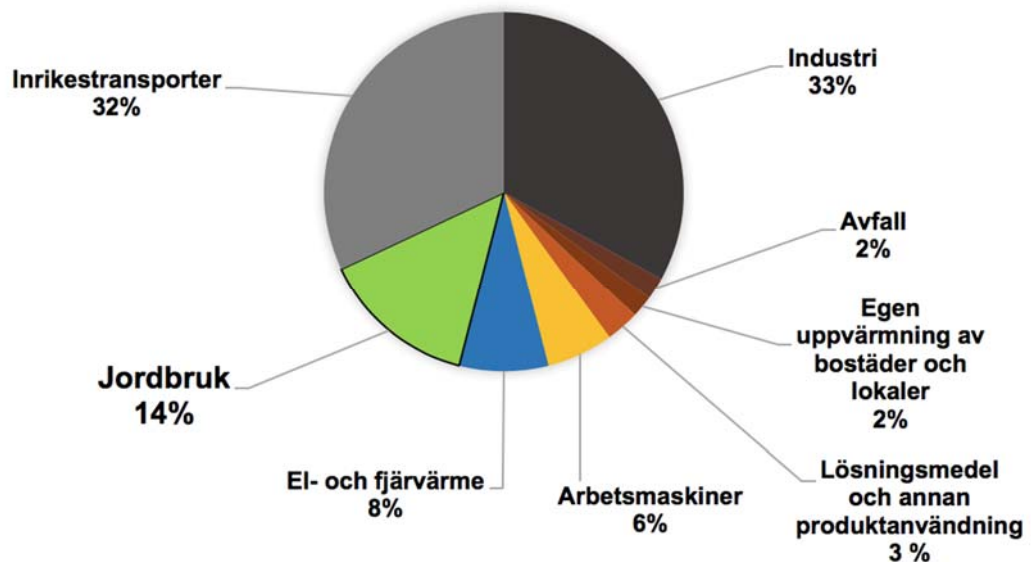
LNG – förkortning för flytande naturgas, m.a.o. nedkyld naturgas, och kan bestå av både biogas (**LBG** – flytande biogas) och naturgas. Kan användas som dual-fuel-bränsle i dieselmotorer.

Etanol - en alkohol som kan användas som bränsle i ottomotorer och efter tillsats av tändförbättrare även i dieselmotorer (**ED95**). Etanol tillverkas vanligen genom fermentering av olika typer av sockerarter.

1 Introduktion

1.1 Riksdagsbeslutet och jordbruket

Sveriges riksdag har antagit ett klimatpolitiskt ramverk med ett klimatomål. Klimatomålet säger att Sverige ska ha noll nettoutsläpp av växthusgaser senast 2045 (Naturvårdsverket, 2019a). 2017 var de totala utsläppen 52 660 000 ton koldioxidekvivalenter (Ekonomifakta.se, 2017). Koldioxidekvivalenter är ett begrepp för att samla olika växthusgasers påverkan på växthuseffekten. Koldioxid utgör 1 uppvärmningspotential, medan metan utgör 25 uppvärmningspotentialer och dikväveoxid 298 uppvärmningspotentialer. Till exempel utgör ett utsläpp på 1 ton metan 25 ton koldioxidekvivalenter (Naturvårdsverket, 2019b). Nedan följer ett diagram (Figur 1.1) som förklarar var alla Sveriges utsläpp kommer ifrån. Utsläppen är uppdelade i olika sektorer, där industrin är den största utsläpparen och avfall samt egen uppvärmning är de två minsta.

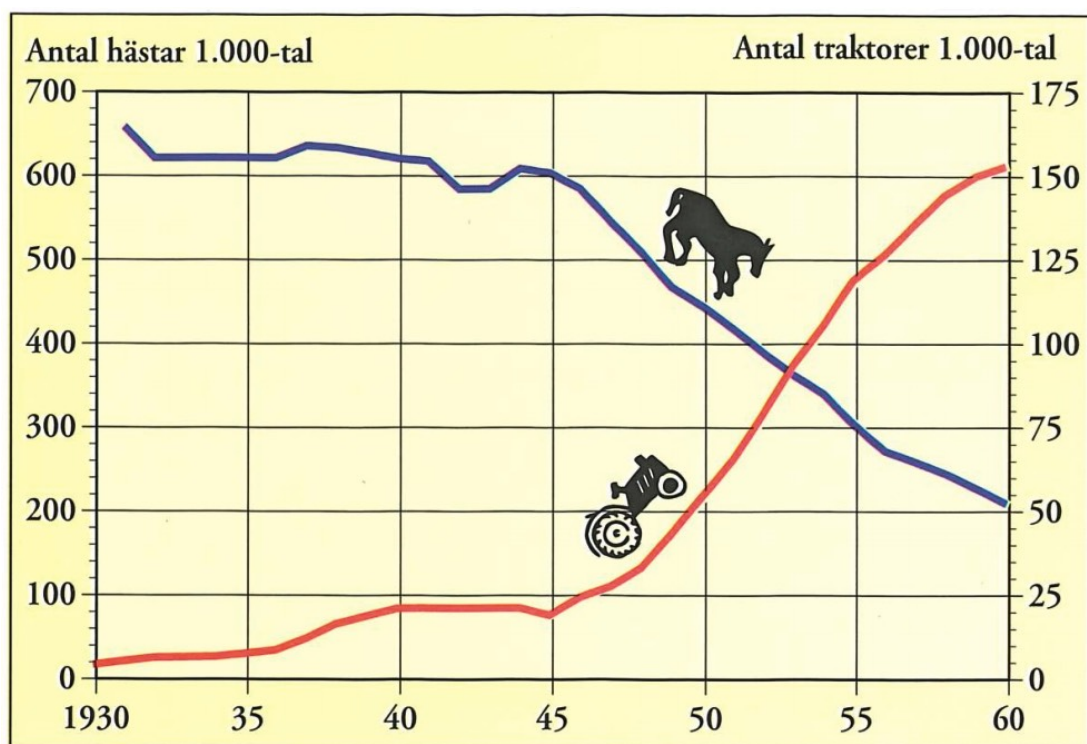


Figur 1.1: Utsläpp av växthusgaser i Sverige per sektor 2017, Ekonomifakta.se. (2017) hämtad: 27/11 2019

Jordbruket är den tredje största sektorn, när det kommer till utsläpp av växthusgaser till atmosfären. Trots att endast runt 1,1 % av befolkningen arbetar inom jordbruket (Jordbruksverket, 2018; SCB, 2019) står branschen för 13,6 % av utsläppen (Ekonomifakta.se, 2017). Denna studie kommer att diskutera hur jordbruket kan reducera sina nettoutsläpp av växthusgaser genom att ställa om till biobaserad DME som drivmedel till maskiner. Idag drivs de flesta av jordbrukets maskiner av fossil dieselolja (Baky, et al., 2010). Utan effektiva drivmedel så rullar inte de tunga maskinerna som utför en betydande del av arbetet som avgör hur lönsamt jordbruket kan vara. Studien diskuterar hur DME produceras, dess effektivitet, ursprung och möjligheten för svenskt jordbruk att bli självförsörjande på DME.

1.2 Maskinernas intåg på åkern

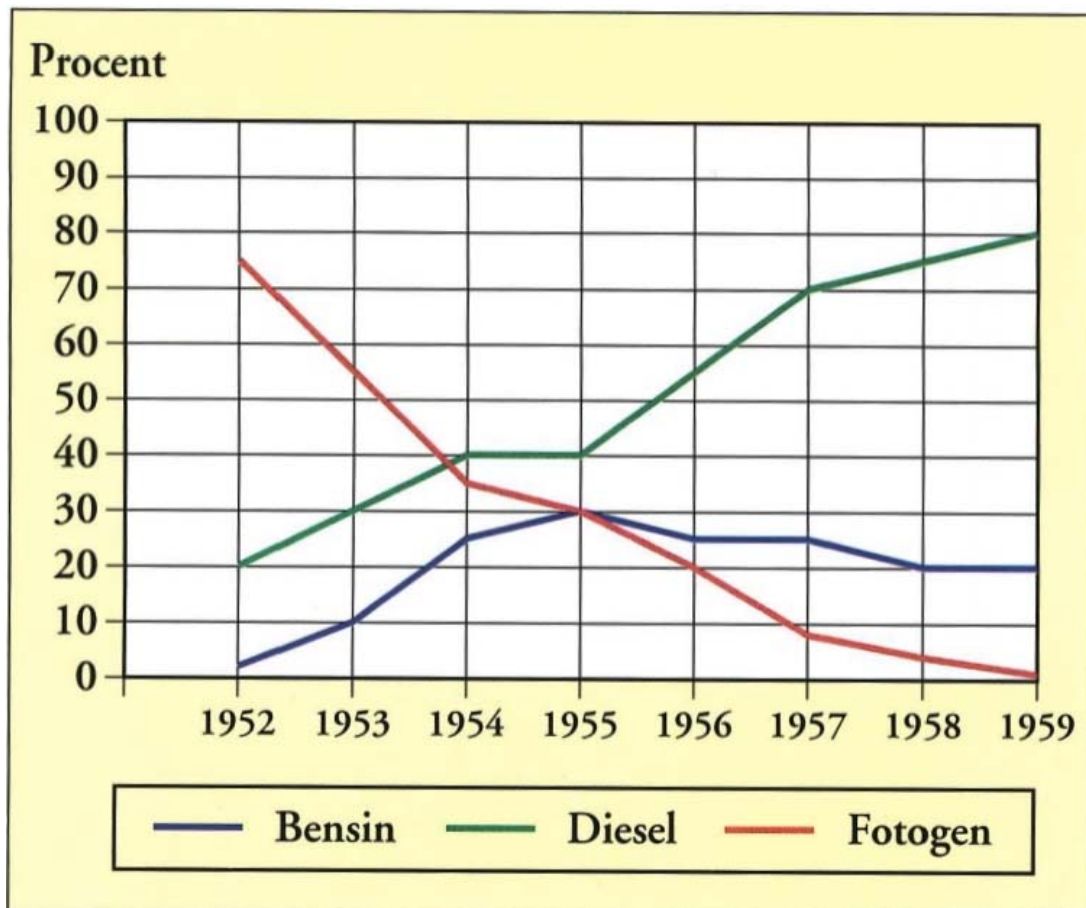
Föregångaren till traktorn kan enkelt ses som arbetshästen, men redan under 1800-talet utvecklades en hel del maskiner för jordbruket, som oftast var drivna av ångmotorer och kunde ses som ånglok på åkern. Enligt boken "Fifty years of farm tractors" är det svårt att säga vilket fordon som var den första traktorn men någon gång mellan 1900 och 1920 var begreppet etablerat (Bell, 1999). 1913 rullade den första svenska traktorn ut på marknaden, Munktells "30–40 HK" som var en bjässe på 8,3 ton med 210 cm höga hjul av stål (Hedell, 1994). Maskinen gick ursprungligen under namnet "motorplog" och drevs av en 2-takts råoljemotor. Utvecklingen gick fort men traktorn skulle inte ersätta hästen som kraften i jordbruket förrän några decennier senare. Hedell (1994) visar i figur 1.2 när hästen började fasas ut och traktoreorna blev ordentligt fler till antalet inom jordbruket i Sverige.



Figur 1.2: Antal hästar och traktorer i jordbruket 1930–1960. Illustration från boken "Från Munktells till Valmet" av Hedell (1994).

En anledning till att traktorns popularitet tog fart under slutet av 40-talet, se figur 1.2, var tack vare lanseringen av den klassiska "grällan", traktorn Fergusson TE20, 1946. Den nya traktorn hade nämligen trepunktshydraulik som gav traktorn egenskaper som gjorde arbetet lika lätt som med hästen (Vetandets värld, 2010). Till en början var maskinerna tunga och långsamma och drevs av bränslen som råolja, fotogen och till en viss mån bensin. Den första helt och hållet dieseldrivna traktorn var, enligt Bell (1999), en Caterpillar 65 Crawler som lämnade fabriken 1931.

Men under krigsåren var bränsle dyrt och fotogen samt gengas stod för majoriteten av traktorbränslet på den svenska marknaden för att senare efter kriget övergå till bensin och sedan diesel (Hedell, 1994). Figur 1.3 nedan visar hur dieselmotorn övertog marknaden i Sverige för traktorer först under 50-talet (Hedell, 1994).



Figur 1.3: Procentuell fördelning mellan bensin-, fotogen- och diesel-traktorer i Sverige 1951–1959. Illustration från boken "Från Munktells till Valmet" av Hedell (1994).

1.4 Syfte och frågeställning

Studien syftar till att sammanfatta vad DME är för något, dess användningspotential och om det är värt att investera i denna typ av teknologi. Studien kommer även belysa vilket arbete kring DME som redan har genomförts, till viss del jämföra DME med andra alternativa drivmedel och slutligen potentialen till att ersätta fossil diesel inom det svenska jordbruket. Studien utgår ifrån Sveriges klimatmål, att Sverige år 2045 ska vara fritt från utsläpp från fossila bränslen till atmosfären (Naturvårdsverket, 2019a).

Frågeställningen har tagits fram med största möjliga eftertanke kring vilken fakta vi har idag. Utgångspunkten är att vi behöver en produkt baserad på biomassa som ersätter fossil dieselolja, som går att tillverka i tillräckligt stora kvantiteter och samtidigt går att använda i befintliga maskiner efter enklare modifiering, år 2020.

- Kan dagens och framtidens behov av förnybart drivmedel inom det svenska jordbruket tillgodoses med hjälp av konvertering av nuvarande tekniska system till ett nytt anpassat efter DME?
- Kan det svenska jordbruket försörjas med svenskproducerad DME?

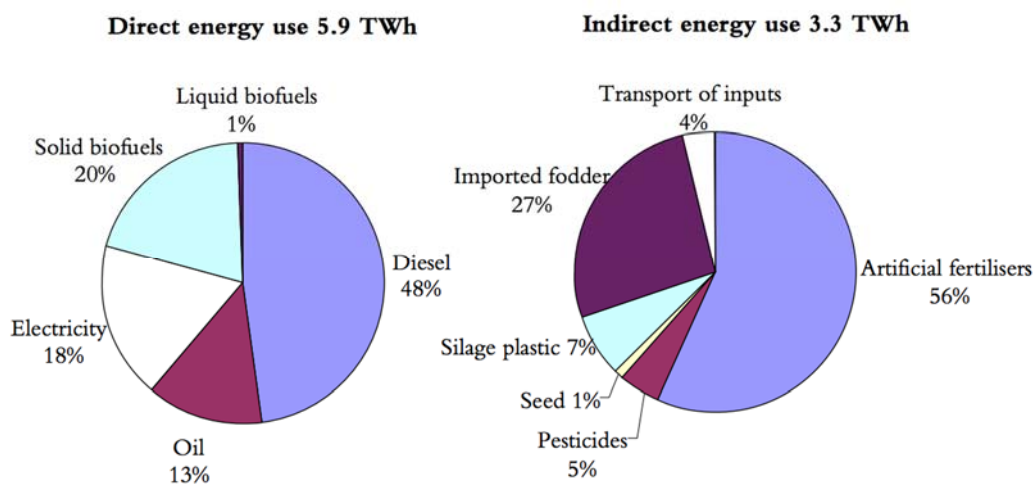
2 Metod

Studien är främst en litteraturstudie, dock har även intervjuer, egna beräkningar samt konversationer via e-post använts. Genom att analysera hur mycket energi det svenska jordbruket använder, hur mycket av det som är diesel, så bör en tydlig bild av dieselbehovet kunna kartläggas. Grundlig genomgång av vad DME är för något, hur det går att producera och vilka andra alternativ det finns som förnybart bränsle till dieselmotorer. Vidare undersökning om hur mycket bioenergi som produceras och kan produceras i Sverige, och möjligheten att använda denna energi för att producera DME, ger ett underlag för om DME är rationellt.

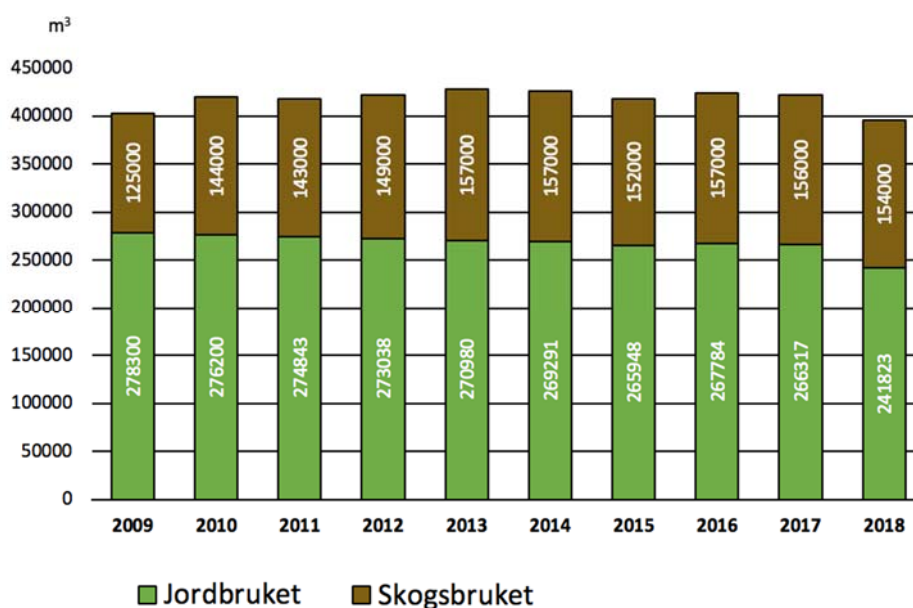
Studien har undersökt hur mycket fossil diesel Sverige måste ersätta med DME och om denna mängd DME teoretiskt skulle kunna produceras i Sverige. Möjligheten till produktion av DME från förnybara råvaror samt konvertering av maskiner har studerats. Slutligen genomfördes en mindre undersökning om drivmedelsanvändningen i några olika typer av odlingssystem för att ge underlag till diskussionen om vissa odlingssystem skapar olika förutsättningar för Sveriges möjlighet att producera bioenergi och DME.

3 Resultat

3.1 Energi och förbrukning av drivmedel



Figur 3.1: Jordbrukets energianvändning 2009, hämtat från Ahlgren (2009).



Figur 3.2: Lantbrukets dieselförbrukning 2009–2018. Bearbetad statistik över lantbrukets dieselförbrukning hämtad från Energimyndigheten (2019a) hämtad: 16/12 2019.

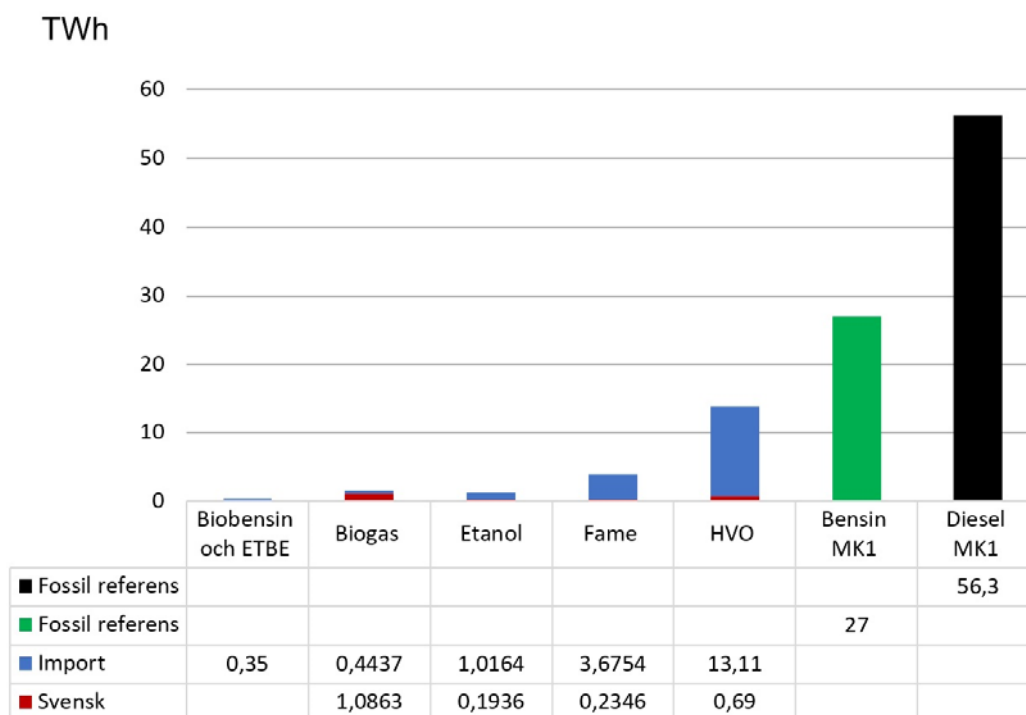
3.1.1 Jordbrukets energianvändning

Genom data från figur 3.1 kan följande konstateras, att dieselförbrukningen var 48 % av 5,9 TWh, motsvarande 2,83 TWh, räknat från *Direct energy use*. Av den totala energianvändningen i det svenska jordbruket 2009, 9,2 TWh (*Direct energy use* + *Indirect energy use*) stod diesel för 30,7 %. Diesel är den enskilt största delen av jordbrukets energianvändning, därefter kommer konstgödsel (*artificial fertilisers*) på 20 %, motsvarande 1,84 TWh. Båda ovan nämnda kategorier använder energislag som av största del är från fossilt

ursprung (Ahlgren, 2009.). I figur 3.2 går det att utläsa lantbrukets dieselförbrukning under åren 2009–2018, uppdelat på jordbruk och skogsbruk. Den totala dieselförbrukningen för det svenska lantbruket var cirka 400 000 m³ 2018 (Energimyndigheten, 2019a).

3.1.2 Biodrivmedel och biokomponenter idag

Ahlgren et al. (2017) skriver i en sammanfattning av rapporten Prade et al. (2017), att behovet av biodrivmedel i Sverige uppskattas till 20 TWh år 2030. Samtidigt förväntas den inhemska produktionen vara mellan 4 och 10 TWh per år, från iLUC - fria råvaror. iLUC (indirect land use change) skildrar huruvida biodrivmedel ger upphov till oavsiktliga koldioxidutsläpp vid produktionen när annan jordbruksmark tas i anspråk, som till exempel skövling av regnskog för ökade jordbruksarealer. Enligt Ahlgren et al. var den inhemska produktionen av biodrivmedlen HVO, FAME, etanol och biogas tillsammans ungefär 1,9 TWh år 2016.



Figur 3.3: Urval från drivmedelsförsäljning i Sverige 2018 jämfört i antal terawattimmar (TWh) och ursprung. Bearbetad data från Energimyndigheten (2019b).

Energimyndigheten (2019b) rapporterar statistik över drivmedel i Sverige och redovisar i "Drivmedel 2018" att 2018 konsumerades totalt 91,1 TWh drivmedel i Sverige. Av dessa var närmare 23 % biokomponenter: 20,95 TWh. Sverige har bytt ut fossilt drivmedel till biodrivmedel i högre utsträckning än andra europeiska länder, mycket på grund av skattereduktion på biodrivmedel och hög skatt på fossila drivmedel (IRENA, 2019). Dessa biokomponenter är mestadels importerade (Energimyndigheten, 2019b), se figur 3.3. I

samma rapport redovisas mängd och ursprung av biokomponenter 2017 respektive 2018. Figur 3.3 redovisar även den totala drivmedelsförsäljningen i Sverige 2018. Total mängd biokomponenter i drivmedel i Sverige var 19,36 TWh 2017 och 20,08 TWh 2018 vilket ger en ökning på 3,72 % på 1 år. 2011 var den totala mängden drygt 6 TWh, vilket leder till en ökning med över 200 % på 7 år (Energimyndigheten, 2019b).

3.1.3 1:a och 2:a generationens biodrivmedel

Biodrivmedel delas upp i kategorierna 1:a och 2:a (finns även 3:e) generationens biodrivmedel. Det som utmärker vilket kategori ett biodrivmedel hamnar i är råvaran, biomassan som används. 1:a generationen består i huvudsak av bränslen producerade av grödor som skulle kunna använts till humankonsumtion, men som är odlad enbart för att tillverka biodrivmedel. Exempel på 1:a generationens biodrivmedel kan vara biodiesel eller etanol beroende på hur de är producerade. T. ex odlas majs specifikt för att producera etanol och raps specifikt för att producera rapsmetylester, RME (Biofuel, 2019a). 2:a generationens biodrivmedel produceras med en resurs som betraktas som mindre användbar till annat. All form av restprodukter från odling, skogsbruk, reningsverk och industri kan därför användas (Biofuel, 2019b). Här ingår drivmedel som metanol, biogas, HVO och DME, men också etanol utvunnen ur lignocellulosa (Dalai et al., 2009). T. ex odlas oljepalmer för att tillverka palmolja, och sedan används restprodukten, som inte kan konsumeras, för att tillverka HVO (Österman, 2017).

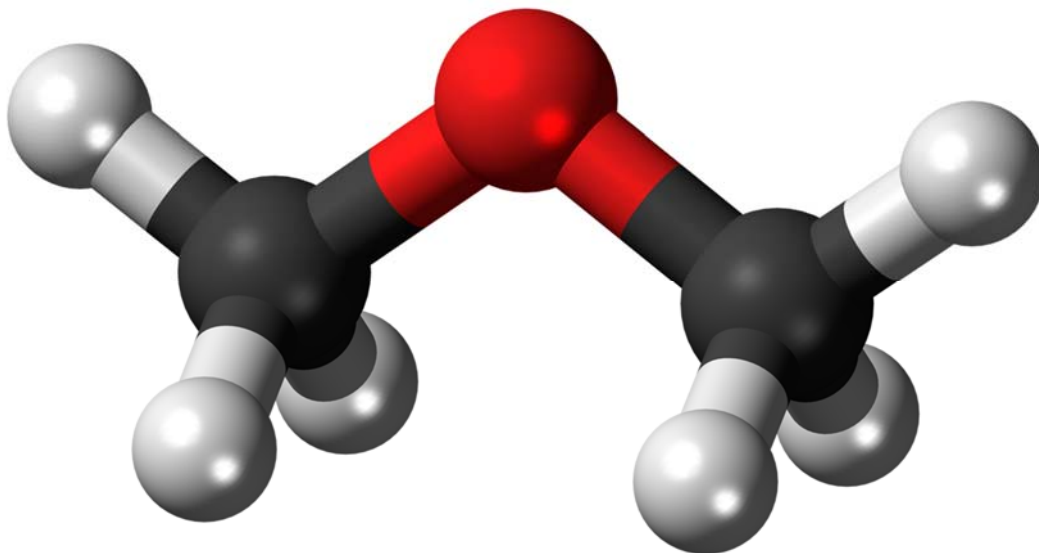
Det finns olika drivmedel som kan användas i dieselmotorer förutom fossil dieselolja. Ett exempel på ett förnybart drivmedel av första generationen är biodiesel (FAME). Biodiesel har blivit associerat med höga utsläpp av NO_x och andra utsläpp som är hälsoskadliga. Biodiesel anses inte möjligt att använda i högre utsträckning än 20 % inblandning för en heltäckande fordonsflotta (Ban-Weiss et al., 2007; Kousoulidou et al., 2011). Av typen 2:a generationens biodrivmedel kan HVO, FT- diesel och DME driva dieselmotorer. FT- diesel är nästan identisk, och kan användas inblandat i vilka mängder som helst, med fossil diesel. FT-diesel går att producera från fossilt kol, naturgas och biomassa (Kousoulidou et al., 2013). Kostnaderna är för höga i förhållande till bränslemängd och har gjort att FT-diesel inte kunnat konkurrera något vidare med fossil diesel (Happonen, 2012). FT- diesel ger lägre specifik bränsleförbrukning, bättre verkningsgrad och lägre utsläpp av kolväten, kolmonoxid och NO_x än fossil diesel (Huang et al., 2008). HVO är idag det vanligaste drivmedlet från förnyelsebar källa i svenska dieselmotorer och utvecklingen har varit explosionsartad de senaste åren. HVO beskrivs som identiskt med fossil diesel, och blandas idag in i såld dieselolja i Sverige för att öka andelen biokomponenter (Energimyndigheten, 2019b; Miljöfordon.se, 2019). HVO produceras från animaliska eller vegetabiliska fetter och vanligen kommer råvarorna från slakteriavfall eller PFAD, som är en restprodukt från palmolja-industrin. Det går även att producera HVO från tallolja, som 2017 stod för 11 % av HVO distribuerad i Sverige. Motsvarande uppgift för HVO från palmolja var 44 % (5 % palmolja och 39 % PFAD) (SPBI.se, 2018; Miljöfordon.se, 2019). Talloljan är en restprodukt från

sulfatmassabruk och används ibland som intern energianvändning i massabruken (Lindfors et al., 2018).

3.2 DME, biogas och syngas

3.2.1 DME – kemi och ursprung

Dimetyleter (C_2H_6O), förkortat DME, är en extremt brandfarlig gas (Aga, 2017) som är en isomer (samma kemiska formel men med olika struktur och egenskaper) av etanol (figur 3.4) (Bergantini, 2017). DME kan användas som drivmedel och är flytande vid 5 bars tryck vid 20 °C (TRB Sverige AB, 2019) och har egenskaper som gör det användbart som ett effektivt bränsle i dieselmotorer (Semelsberger et al., 2006). 5 bars tryck kan jämföras med en vanlig gasoltubs krav på 8,5 bar vid 20 °C (Fogas, 2019) eller ett vanligt tryckkärl för koldioxid till kolsyrad dryck som kräver 57,3 bars tryck vid 20 °C (SodaStream, 2011). DME har ett energiinnehåll på 28,8 MJ/kg (f3centre, 2017). TRB skriver på sin hemsida att "DME är en god ersättning för dieselolja. Bränslet har relativt högt energiinnehåll, högt cetantal (tändvillighet) och ger låga utsläpp av reglerade emissioner" (TRB Sverige AB, 2019). DME kan produceras från olika källor med kol som gemensam nämnare. Naturgas är den vanligaste källan för att producera DME, men det går också att använda biomassa och fossilt kol (Semelsberger et al., 2006). Det betyder att DME kan produceras från förnybara källor som biomassa och biogas. Svensk DME producerat från svartlut kallas ofta för BioDME (f3centre, 2017; Miljöfordon.se, 2017).



Figur 3.4: 3D-struktur för Dimetyleter. Från Wikipedia.org, 2019. Hämtad: 03/12 2019

3.2.2 Biogas – kemi och ursprung

Biogas är en gas som vanligtvis framställs när mikroorganismer bryter ner organiskt material under anaeroba (syrefria) förhållanden. Biogas kan användas som energikälla till uppvärmning, elproduktion eller uppgraderas till fordonsbränsle, även kallat fordonsgas, som består av ren metan. Biogas (rågasen) innehåller mellan 40 och 80 % metan (CH_4) utblandat med i huvudsak koldioxid men även vatten och andra föroreningar som bildas under processen (Energigas.se, 2019). Man kan även framställa biogas genom termisk förgasning av biomassa eller genom användning av elektrolys utnyttja överskottsel för att omvandla koldioxid (CO_2) och vatten (H_2O) till metan (CH_4), även kallat "power to gas" (Swedegas.se, 2019; Nikoleris & Nilsson, 2013).

Metan förvaras under högt tryck, över 200 bar upp till 250 bar (MSB, 2011). I en debattartikel "*Biogasen är en återvändsgränd*", skriver Ekstrand & Hemming (2013) om biogasens problematik. De menar att metan är problematisk att använda som bränsle i fordon då det är både tekniskt komplicerat att uppgradera och att komprimerade gasen. Enligt debattartikeln motsvarar en tank med uppgraderad biogas endast 21 % av energimängden av motsvarande volym fossil dieselolja. Vidare uppmanar skribenterna att istället för att uppgradera biogas till fordonsgas, satsa på produktion av metanol och DME och menar att "DME är mer hanterbart därför att det bara behöver komprimeras till 5 bar eller kylas till -25°C för att bli flytande" (Ekstrand & Hemming, 2013).

3.2.3 Syngas – kemi och ursprung

Syntesgas, eller syngas som det ofta kallas, är en gas främst bestående av kolmonoxid och väte, med inslag av koldioxid och metan. Syngas kan omvandlas till olika molekyler som vätgas eller metanol men också till syntetisk bensin och diesel genom Fischer-Tropsch processen (Foit et al., 2016; Worldwatch Institute, 2007). Syngas används även till Haber-Bosch metoden för att utvinna ammoniak till konstgödsel (Kandemir et al., 2013). Syngas produceras genom termokemisk förgasning av kolrika källor som, t.ex. biomassa, brunkol, naturgas eller biogas. Detta betyder att det går att tillverka förnyelsebar syngas av vanligt förekommande råvaror. Syngas kan användas som bränsle och har ungefär 50 % lägre energiinnehåll än naturgas (Biofuel, 2019d; Worldwatch Institute, 2007). Syngas är utgångspunkten för att tillverka DME och kan syntetiseras till DME direkt (direktsyntes) eller via metanol (indirektsyntes) (Johansson & Hanarp, 2013).

3.2.4 DME – produktion från förnyelsebart

DME kan som tidigare nämnts tillverkas från syngas som i sin tur går att producera från olika kolföreningar, däribland biogas och biomassa. En förnybar kolförening som ofta nämns i sammanhanget är svartlut, en restprodukt från pappersmassaindustrin. 2008 till 2012 genomfördes ett projekt kallat "BIODME" där bland annat EU, Energimyndigheten, Preem, Volvo Trucks och Chemrec deltog. Projektet gick ut på att undersöka om det i industriell skala går att producera miljöoptimerad syntetiskt biodrivmedel från biomassa baserad på

lignocellulosa. Projektet resulterade i produktion av ren syngas från svartlut, syntetiserad till metanol och DME (Europeiska kommissionen, 2019). Till projektet konverterade Volvo tio lastbilar till drift på DME. Ombyggnationen innebär att en dieseldriven lastbil fick byta tank och insprutningssystem för att matcha det nya drivmedlets tekniska krav. Efter provkörningar under flera år kunde Volvo visa att lastbilarna fungerade bra med DME i tanken (Holm, 2012). På forskningsinstitutet RISE:s hemsida skriver man att DME fungerar "fantastiskt bra i dieselmotorer" och säger att Volvo kommit mycket långt i arbetet med att anpassa dieselmotorerna till DME (RISE, u.å.). BioDME kallas DME producerad av biologiskt förnybar råvara. Oavsett vad DME är producerat av så ger det samma egenskaper (Sidén, 2015).

Johansson & Hanarp (2013) beskriver möjligheten att småskaligt producera drivmedel på gården. I deras rapport framgår att småskaliga anläggningar är under utveckling och de spår att "några av dem" kommer att finnas på marknaden inom en snar framtid. Johansson och Hanarp beskriver två företag som utvecklar småskaliga anläggningar för produktion av DME, Oberon Fuels och Gas Technology (GTI). Gas Technology är beläget utanför Chicago, USA, och har arbetat med naturgas och energi sedan 1991 (GTI, 2019). Gas Technology har utvecklat en småskalig anläggning som producerar DME. Anläggningen, som är anpassad efter naturgas, använder en billigare process men med ett troligen lägre energiutbyte (Johansson & Hanarp, 2013). Oberon Fuels är ett annat amerikanskt företag, beläget i Kalifornien, som producerar DME från biogas och naturgas. Oberon Fuels har konstruerat vad som beskrivs som en småskalig anläggning som tar upp 3700 kvadratmeter. Anläggningen kan producera 37 854 liter DME om dagen (Oberon Fuels, 2019). Enligt ordförande och chef för Oberon Fuels Rebecca Boudreaux¹ kan kostnaden för Oberon Fuels småskaliga anläggning i dagsläget inte uppges, men beräkningar finns. DME-pilotanläggningen i projektet "BIODME" blev byggd i Piteå med en kapacitet att producera 4 ton DME om dagen och beräknades kosta 150 miljoner kronor (ETIP Bioenergy, 2019). Projektet landade i slutändan på investeringar på 220 miljoner och en total projektbudget på ca 300 miljoner kronor (Salomonsson, 2013). Företaget Chemrec's planerade DME fabrik i Örnsköldsvik i anslutning med Domsjöfabriken föreslogs kosta 2,8 miljarder (Edin, 2009) och höjdes sedan till 3,5 miljarder (ATL, 2012). Men efter att Domsjöfabriken fick nya ägare 2012 lades DME-projektet ned (ATL, 2012). Ett EU sponsrat projektet kallat FLEDGED skriver på sin hemsida att de håller på att genomföra en ekonomisk analys och undersöka kostnaderna för att producera DME (FLEDGED, 2019).

3.2.5 DME – som drivmedel

DME kan fungera som alternativt drivmedel i dieselmotorer och beskrivs som ett ultrarent dieselbränsle (Bhide et al., 2003; Semelsberger et al., 2006). DME har ett energiinnehåll på 28,8 MJ/kg, motsvarande ca 70 % av energiinnehållet i fossil dieselolja. Det betyder att om en dieselmotor ska kunna utföra samma mängd arbetstimmar med DME som bränsle som

¹ Rebecca Boudreaux, Kemist, Ordförande och Chef, Oberon Fuels, mail 2019-12-18

med fossil diesel som bränsle så krävs det en cirka 43 % större tank (f3centre, 2017). Eftersom DME inte är flytande under normala temperaturförhållanden (20 °C), måste gasen förvaras under tryck. Motorerna måste därför modifieras genom att tankar och insprutningssystem konstrueras annorlunda än i nuvarande dieselmotorer. Dessutom är viskositeten, "tjockheten", ungefär tio gånger mindre än för fossil dieselolja vilket skapar problematik (Bhide et al., 2003). Enligt Henrik Salsing² på Volvo GTT löser de viskositetsproblematiken genom att använda samma typ av smörjmedel som används i vanligt dieselbränsle. Koncentrationerna som behövs är enligt Salsing mycket små, bara några hundratals ppm och påverkar således inte emissionerna. Salsing³, som arbetat med DME vid Volvo sedan 2004, anser att Volvos konvertering av lastbilar till DME-drift visat mycket lyckade resultat. Lastbilarna presterade lika bra med DME i tanken som med fossil diesel men med lägre ljudnivå och 10 % lägre koldioxidutsläpp. Salsing anser att det inte bör finnas några tekniska hinder för att genomföra en liknande konvertering av en dieseldriven traktor. Enligt Salsing har Volvo GTT, utöver utveckling av dedikerat bränsleinsprutnings- och tanksystem, även utvecklat dieselmotorns kolvar för att passa bättre ihop med DME. Vidare leder DME-förbränning till mindre komplicerade emissioner vilket skapar möjligheter för ett enklare avgasefterbehandlingssystem, ett avgassystem för DME behöver därför inget partikelfilter (European Commission, 2014b).

3.3 Potential och miljönytta

3.3.1 Biomassapotentialet i Sverige

Enligt Sidén (2015) använde Sverige 140 TWh bioenergi 2014. Han menar vidare att Sverige skulle kunna öka sin andel bioenergi från 108 TWh 2005 till 150 TWh 2020 och vidare till 228 TWh 2050 (Kommissionen mot oljeberoende, 2006). Författaren konstaterar att energimarknaden sedan 2015 följt prognosen. Sidén hänvisar till en studie vid SLU där det räknats ut följande: om 5 % av skogen i Sverige motsvarande 1,15 miljoner hektar, avsätts till intensivodling av gallringsfri gran, med en omloppstid på 45 år, skulle den specifika ytan kunna producera 27 TWh om året. 56 % av Sveriges landareal är skog, 23 miljoner ha med ett virkesförråd på 3,2 miljarder m³ skogskubikmeter (sk) (Sidén, 2015). 1950 var virkesförrådet endast 2 miljarder m³ sk (Skogsindustrierna, 2019). Under 1900-talet ökade arealen skog i Sverige med 600 000 – 800 000 ha och under samma period minskade åkermarken med 900 000 ha (Antonson & Johansson, 2011). Ifrån dessa skogskubikmeter plockar Sverige ut 120 TWh bioenergi om året i form av t.ex. ved, GROT (grenar och toppar) och stubbar (Sidén, 2015).

Av Sveriges totala energiförsörjning kommer 1,5 TWh från jordbruket. Energigrödor upptar nästan 3 % av den totala jordbruksarealen som är 3,4 miljoner ha (Sidén, 2015).

² I fotnoten: Henrik Salsing, Teknisk Doktor, Volvo GTT, mail 2019-11-29

³ I fotnoten: Henrik Salsing, Teknisk Doktor, Volvo GTT, intervju 2019-11-12

Bland annat odlas spannmål som vete för att producera etanol. Oljeväxter som raps odlas för att producera biodiesel (Johansson, 2007). Andelen svenskproducerad etanol som såldes i Sverige var 0,194 TWh 2018. Produktionen i Sverige var högre för exporten än ej medräknad (Energimyndigheten, 2019b). 2013 förbrukade jordbruket 269 000 m³ diesel, motsvarande 2,64 TWh (Karlsson, 2015). Enligt den statliga utredningen SOU 2007:36, "Bioenergi från jordbruket – en växande resurs" kan odling av energigrödor teoretiskt tillföra 15–30 TWh energi till samhället. Enligt utredningen tilldelas högst lönsamhet genom etanol från vete, diesel från oljeväxter och värme och el från salix. Sverige skulle potentiellt kunna utnyttja energi från pappersmassaindustrin genom att använda den svartlut som produceras, motsvarande 40 TWh. Svartlut kan förgasas till syngas och potentiellt kan det generera ca 22 TWh biodrivmedel om året från Sveriges 28 sodapannor. Globalt är potentialen 600 TWh om året (Löwnertz, 2011).

3.3.2 "Well-to-wheel" principen

"Well-to-wheel", WTW eller direktöversatt "källa till hjul" är en livscykelprincip, som räknar på total klimatpåverkan, energianvändning och effektivitet från resursens ursprungskälla till produktion, distribution och fordonets drivlina. WTW kan delas upp i WTT (well-to-tank) och TTW (tank-to-wheel) för att lättare få en övergripande bild av var den största klimatpåverkan, eller energiåtgången sker (Sveriges Åkeriföretag, 2019). Med hjälp av dessa ovannämnda principer kan olika drivmedel jämföras med varandra ur klimatnytta och energieffektivitet. WTW skiljer sig från en livscykelanalys då metoden till exempel inte beräknar kostnader för infrastruktur och fordon. Resultaten bör därför utvärderas vidare och undersöka t.ex. kostnader, potentiella volymer och genomförbarhet (European Commission, 2016).

Vid användning av ved som källa för produktion av DME är WTT-utsläppen av växthusgaser låga. Detta för att utsläppen är förnybara och att den mesta energi som används i processen också kommer från veden. DME brinner, vid användning i dieselmotorer, med ungefär samma effektivitet som fossilt dieselbränsle (European Commission. Joint Research Centre, 2014a). DME från svartlut har ungefär 95–99 % lägre nettoutsläpp av växthusgaser än konventionell diesel. DME från ved genom GTL har ungefär 90–95 % lägre nettoutsläpp av växthusgaser än konventionell diesel. Ungefär samma siffror som ovan gäller för hur mycket fossil energi som sparas om ett fordon drivs med förgasad ved eller svartlut baserad DME (European Commission. Joint Research Centre, 2014b).

I en WTW-analys av HVO (Källmén et al., 2019) jämfördes HVO från olika sorters råvaror. Resultatet visade att HVO från rapsolja endast hade 25 % lägre utsläpp av koldioxidekvivalenter än fossil diesel. Detta för att alla utsläpp från odling till produktion räknas med när en gröda primärt odlas för drivmedelsproduktion. För PFAD, tallolja och slakterirester gäller andra regler då dessa resurser betraktas som restproduktion och utsläpp högre upp i kedjan kan därför dras bort, även kallat *cut off*. HVO från slakteriavfall får då nästan 60 % lägre klimatpåverkan medan HVO från PFAD och tallolja får 81 % respektive 93,5 % lägre klimatpåverkan (Källmén et al., 2019).

3.3.3 Biprodukter vid DME produktion

Vid produktion av DME förgasas kolrika material för att frigöra kolmonoxid och vätgas, så kallad syngas. En annan potentiell produkt vid förgasning av biomassa är biokol (Yao, et al., 2018). Efterfrågan på biokol i Sverige förutspås att öka och klimatnyttan för biokol är stor (Holm, 2018). Andra produkter som går att tillverka från syngas är t.ex. konstgödsel, kemikalier som etanol och metanol, värme, elektricitet, metan och vätgas (Gasification Technologies Council, 2014).

3.3.4 Konventionellt, ekologiskt eller biointensiv odling

"All mänsklig aktivitet påverkar miljön, så även jordbruket och livsmedelsproduktionen" så inleds rapporten *Den hållbara gården – finns den?* (Röös, 2017), och menar att det svenska jordbruket inte är hållbart. Rapporten analyserar och utvärderar en ekologisk gård utanför Örebro och kommer fram till att gården ligger i någon form av svenskt medelvärde lutande mot lite bättre utifrån ett livscykelperspektiv. I en intervju med Röös (Johansson, 2018) förklarar hon vidare att det konventionella och ekologiska jordbruket har ungefär samma klimatpåverkan. Den stora skillnaden är istället mellan animalier och vegetabilier där kött har "långt mycket större påverkan på hur mycket mark som behövs". Stefan Wirsenius vid Chalmers tekniska högskola menar att det ekologiska jordbruket har mycket högre klimatpåverkan på grund av högre markanvändning och därför leder till avskogning. I samma artikel framstår biodrivmedel också som en variabel som ökar utsläppen av växthusgaser, på grund av att mark avsätts till produktion av biodrivmedel istället för mat, vilket leder till avskogning. Biodrivmedlen som nämndes i exemplet var etanol från majs, vete och sockerrör samt HVO från palm, - solros, - och rapsolja (Wirsenius, 2018).

I en rapport från LRF konsult (2017) framgår det att ekologiska gårdar har högre lönsamhet, högre bruttovinst och lägre drivmedelskostnader per hektar än de konventionella. Rapporten pekar dock på att varken ekologiska eller konventionella gårdar är långsiktigt hållbara. I Jandovský (2011), en kandidatuppsats vid Södertörns högskola, framgår det att dieselförbrukningen är högre i det ekologiska jordbruket än i konventionellt på grund av "ett flitigt användande av dieseldrivna traktorer" men det är oklart vad detta påstående grundas på. Dock framgår det i boken *Organic crop production: ambitions and limitations* (Kirchmann och Bergström, 2008) att på grund av det ekologiska jordbrukets lägre skördar, jämfört med det konventionella jordbruket, ökar markanvändningen som i sin tur minskar arealen som kan användas för odling av energigrödor. Därmed menar Kirchmann och Bergström (2008) att det ekologiska jordbruket minskar det möjliga uttaget av energi från åkermark, och därmed den potentiella bioenergiproduktionen.

Definitionen för biointensiv odling är enligt Fortier (2014) en hortikulturell metod för att odla så mycket som möjligt på en så liten yta som möjligt, med strävan att även bevara eller förbättra jorden. Biointensiv odling kan ge 4–5 gånger högre skördar per ytenhet i jämförelse med traditionell odling (Martin, 2007). För vissa grödor har försök i USA visat på

upp till 31 gånger högre avkastning (Jeavons, 2017). Genom att odla tätare och med hjälp av samodling skapas mikroklimat och odlingsarealen utnyttjas bättre (Fortier, 2014; Jeavons, 2017). Jeavons skriver att biointensiv odling bör ses som positivt i en tid med "*peak food*", gränsen för hur mycket mat som kan produceras. Jeavons menar att ett biointensivt odlings-system även reducerar vattenbehovet med upp till 88 %, gödslingsbehovet minskas med 50 % eller mer och energin som behövs per producerad enhet kan minskas med 94–99 %. Jordens bördighet kan öka med över 100 % samtidigt som en yta kan producera 200–400 % mer kalorier och dessutom ge en ökad ekonomisk inkomst på 100 % eller mer per odlad yta. Men, menar Jeavons, om tekniken används fel kan jorden utarmas snabbare på grund av de höga avkastningarna. Istället bör biointensiv odling kombineras med *Agroforestry* och andra alternativa odlingssystem (Jeavons, 2017).

3.4 Beräkningar

Oberon Fuels småskaliga DME-produktionsanläggning kan producera 37 854 liter DME om dygnet. Till detta krävs 43 607 944 liter biogas, med en metanhalt på 72 % och 28 % koldioxid. Anläggningen klarar en koldioxidhalt på max 50 % (Oberon Fuels, 2019). Nedan i tabell 1 sammanställs dessa siffror och räknar ut energiutbytet från metan till DME.

Tabell 1: Omräkning data från Oberon Fuels småskaliga biogas till DME-anläggning.

Baseras på Oberon Fuels, 2019; F3centre, 2017.

Resurs	m ³	Kg/m ³	Kg (20 °C)	MJ/kg	MJ
Biogas	43 608				
Metan (72 %)	31 398	0,668	20 974	50,01	1 048 895
DME	≈ 38	670	25 362	28,8	730 431

$$\frac{730\,431}{1\,048\,895} = 0,696381 \approx 70 \% \text{ energiutbyte}$$

Tabell 1 visar att Oberon Fuels småskaliga anläggning kan producera DME med ett energiutbyte på 70 % av energiinnehållet från tillförd biogas. I tabell 2 har olika källor använts för att jämföra energiutbytet med andra processer för att tillverka olika biodrivmedel.

Tabell 2: Energiutbyte vid olika processer för produktion av biodrivmedel. Baseras på Oberon Fuels, 2019; Skogsindustrierna (okänt år); Prade et al., 2017; Börjesson et al., 2013; Göthe, 2013; Begelius; 2014.

Drivmedel	Ursprung och Process	Energiutbyte
Etanol	Ved $\xrightarrow{\text{Jäsning}}$ Etanol	22–27 %
Etanol	Biomassa $\xrightarrow{\text{Jäsning}}$ Etanol	21–53 %
Biogas	Biomassa $\xrightarrow{\text{Rötning}}$ Biogas	49–79 %
DME	Ved $\xrightarrow{\text{Förgasning}}$ DME	57–65 %
DME	Svartlut $\xrightarrow{\text{Förgasning}}$ DME	<56 %
DME*	Biogas $\xrightarrow{\text{Förgasning}}$ DME	<70 %
DME (lågt)**	Biomassa $\xrightarrow{\text{Rötning}}$ Biogas $\xrightarrow{\text{Förgasning}}$ DME	34,3 %
DME (høgt)**	Biomassa $\xrightarrow{\text{Rötning}}$ Biogas $\xrightarrow{\text{Förgasning}}$ DME	55,3 %
CNG Fordonsgas (lågt)	Biogas $\xrightarrow{\text{Uppgradering}}$ CNG	90 %
CNG Fordonsgas (høgt)	Biogas $\xrightarrow{\text{Uppgradering}}$ CNG	99,9 %
CNG Fordonsgas (lågt)**	Biomassa $\xrightarrow{\text{Rötning}}$ Biogas $\xrightarrow{\text{Uppgr.}}$ CNG	39 %
CNG Fordonsgas (høgt)**	Biomassa $\xrightarrow{\text{Rötning}}$ Biogas $\xrightarrow{\text{Uppgr.}}$ CNG	78,9 %

* Baseras på värden från tabell 1.

** Baseras på värden från tabell 2.

Tabell 2 innehåller ett urval av energiutbytet i olika processer för tillverkning av biodrivmedel av olika typer av biomassa som har högst energiutbyte. Tabell 2 innehåller dock ej värden för använd energi i processen t.ex. transporter, drift av pumpar, vattenskrubbar, katalysatorer, m.m. Med hjälp av data ur Börjesson et al. (2013) kan beräkningar genomföras för t.ex. antal hektar som behövs av en viss gröda för att producera en viss mängd biodrivmedel. Som exempel är avkastningen för sockerbetor 12,9 ton torr substans (TS) per hektar och kan ge ett biogasutbyte på 160 GJ. 1 ha sockerbetor kan alltså ge 160 GJ biogas. Vid förgasning och DME-syntes med Oberon Fuels anläggning, går det teoretiskt att tillverka 112 GJ DME, motsvarande 5804 liter DME, från 1 ha sockerbetor. I tabell 3 sammanställs data från ett urval av olika grödor.

Tabell 3: DME-utbyte per hektar från ett urval av grödor. Bearbetad data från Börjesson, 2013; Oberon Fuels, 2019.

Substrat	Skörd per ha	Biogasutbyte (%)	Biogasutbyte	DME-utbyte	DME-utbyte
	Ton torrsubstans	Procent av substratets energi	GJ/ha	MJ/ha**	Liter/ha**
Sockerbeta	12,9*	77	160	112 000	5804
Hampa	9,1	51	75	52 500	2721
Majs	9,4	68	103	72 100	3737
Rågvete	7,5	76	92	64 400	3337
Vall	8,6	56	78	54 600	2830
Vete (kärna)	6,7	81	88	61 600	3192

*Beta och blast

**Baserat på ett energiutbyte på 70 % av biogasens energi, se tabell 1.

2013 konsumerade jordbruket 269 000 m³ fossil diesel (Karlsson, 2015), motsvarande omkring 450 000 m³ DME. Beräknat utifrån tabell 3 behövs 77 532 ha sockerbetor eller 140 977 ha vete för att förse jordbruket med 450 000 m³ DME, motsvarande 2,412 TWh. Baserat på Statistiska centralbyråns statistik (2019) odlas det i medeltal sockerbetor på 29 260 ha/år, vall på 1 127 640 ha/år och vete på 444 680 ha/år, baserat på åren 2014–2018. Enligt Björnsson et al. (2011) är den totala biogaspotentialen i Skåne 2,927 TWh/år, motsvarande 2,049 TWh DME. Med andra ord skulle teoretiskt biogas från Skåne kunna förse svenska jordbrukare med 382 257 m³ DME motsvarande näst intill 85 % av jordbrukets totala drivmedelsbehov per år.

I Sverige uppstår 117 kg matavfall per person och år, uppskattat år 2010, men det finns nationella mål att matavfallet ska minska med 20 % till år 2020 vilket skulle betyda en minskning till 94 kg per person och år (SEPA, 2013 se Prade et al., 2017). Prade et al. (2017) menar att det potentiellt skulle kunna utvinnas 1,2 TWh biogas om året år 2030 om nivån antas ligga på 94 kg matavfall per person och år. 1,2 TWh biogas korresponderar med 0,84 TWh DME, vilket, med en uppskattad efterfrågan på 2,412 TWh, motsvarar nästan 35 % av jordbrukets drivmedelsbehov.

4 Diskussion

Huruvida det är möjligt för det svenska jordbruket att bli självförsörjande på DME går att diskutera. I huvudsak handlar det om två saker, hur mycket biomassa finns tillgänglig och vad kostar det. Det finns stora tillgångar på resurser i Sverige för att producera biodrivmedel t.ex. genom rötning eller förgasning, men tillgången är också begränsad. Hur mycket specificeras inte i denna studie, men det går att konstatera att det finns mer energi att utvinna än vad jordbruket efterfrågar idag. Det ska inte ignoreras att andra sektorer också kommer att intressera sig för denna energi för att tillfredsställa det behov av förnyelsebara drivmedel som finns och som tillkommer i framtiden. Situationen kommer att kräva högt effektivt energiutnyttjande och de system som bäst kan ta vara på energin bör därför efterfrågas. Tillgången på biomassa i Sverige är stor, men efterfrågan förväntas bli större. Användningen av biodrivmedel i Sverige idag är hög samtidigt som den inhemska produktionen är förhållandevis låg.

DME kan produceras från många olika råvaror som kan produceras eller utvinnas ur det svenska jordbruket. Restprodukter från industrin och ur annan verksamhet som till exempel hushållsavfall kan också användas. DME kan till skillnad från HVO och FAME, tillverkas av långt fler olika resurser som kan beskrivas som iLUC-fria råvaror, råvaror som inte ger upphov till oavsiktliga koldioxidutsläpp på annan plats. Produktionen av HVO från tallolja kanske ger ett bättre pris på talloljan, men kan innebära att sulfatmassabruken måste importera annan energi för att drivas. DME beskrivs av experter som ett relativt okomplicerat drivmedel som ger utmärkt prestanda i en dieselmotor. Bränsleåtgången är ungefär 43 % högre till volymen jämfört med fossil diesel på grund av det lägre energiinnehållet (vilket kan jämföras med fordonsgas som har till volymen 75 % högre bränsleåtgång). Detta kan åtgärdas med större tank eller genom att tanka oftare.

Huruvida det är mest effektivt att nyttja energin i biomassa genom att tillverka metan (CBG/LBG) eller DME, bör undersökas vidare. Samtliga tidigare nämnda drivmedel kan användas i dieselmotorer i olika utsträckning. Förslagsvis bör hela livscykeln studeras från produktion av råvaror och vidare omställning av olika fordonsflottor och distributionssystem. Metan i olika form kan produceras med högre energiutbyte än DME. Något som talar för metan i framtiden, är att utvecklingen och omställningen redan tagit fart, med en stor biogasproduktion och redan utbyggda distributionssystem. Metan går även att använda i både otto- och dieselmotorer. Problemet med metan är det höga trycket på 200 bar som krävs vid komprimering, 40 gånger högre än för DME. Det går åt mycket energi vid både uppgradering och komprimering och det krävs mer avancerad infrastruktur och om det uppstår olyckor är risken stor för kraftiga explosioner.

Energieffektiviteten för DME är hög, men en utbyggnad av fabriker och distributionsystem är omfattande. Även om samma infrastruktur som för LPG (Liquid petroleum gas), även kallat "grön gasol", kan användas till DME, så är denna infrastruktur idag inte lika etablerad som för flytande drivmedel. Detta bör dock ställas mot andra energislag som till exempel HVO som på grund av att ämnet beskrivs som "kemiskt identiskt" med diesel inte

kräver några nya distributionssystem eller maskinkonverteringar. Idag verkar inte HVO ha lika hög potentiell produktion av svensk råvara och dessutom inte med lika låg klimatpåverkan som DME. Energiutbytet vid produktion av CBG är i vissa fall högre än för DME, men vidare studier måste jämföra energiåtgången för produktion för att ge en rättvis analys av vilket drivmedel som är mest effektivt. Verkningsgrader vid förbränning i dieselmotorer och kostnader för maskinkonverteringar måste jämföras grundligt. Framtiden för Sverige som ett land som inte släpper ut några växthusgaser från fossila källor kommer förmodligen att kräva ett mycket effektivt utnyttjande av den energi som finns i biomassa. Något som bör nämnas är att produktionen av biomassa kan öka genom förändrade odlingssystem. Detta används ofta som ett argument för att konventionell odling är en bättre lösning ur ett klimatperspektiv än det ekologiska, då mer mark kan frigöras för produktion av biomassa, och i sin tur bioenergi. Om Sverige ska kunna öka sin livsmedelsproduktion och samtidigt öka produktionen av bioenergi, talar det för det konventionella jordbrukets högre skördar snarare än för det ekologiska. Det bör dock betonas att det är det konventionella jordbruket som använder den konstgödsel som står för 20 % av jordbrukets samlade utsläpp, och som är av fossilt ursprung. Till det hör att många av de insatsvaror som beskrivs som hotade under en kris ur ett beredskapsperspektiv är just konstgödsel, bekämpningsmedel och drivmedel, där två av dessa användes i mycket högre grad av det konventionella jordbruket.

I rapporten *Livsmedelsproduktion ur ett beredskapsperspektiv* (SLU, 2018) beskriver författarna jordbrukets utmaningar vid en kortare och längre kris. I rapporten framgår det tydligt att drivmedelsförsörjningen är direkt hotad vid båda beskrivna scenarier och att jordbruket då får problem med att bedriva sin dagliga verksamhet. De förklarar vidare att global uppvärmning idag kan ses som både ett miljöproblem men även ett säkerhetshot. Därför är nyttan dubbel i att producera inhemska biodrivmedel till lantbruket för att säkra matproduktionen vid en kris samtidigt som utsläppen från fossila bränslen minskas. Rapportens förslag till den bästa livsmedelsberedskapspolitiken är att "införa politiska styrmedel och genomföra satsningar för att snabba på en omställning till fossilfritt lantbruk". I rapporten framgår det även att utsäde, gödsel och växtskyddsmedel är nödvändiga insatsvaror, som idag i högsta grad importeras, för att främst växtodlare ska kunna bedriva sin verksamhet.

Värt att nämna från rapporten (SLU, 2018) är även att sårbarhetsproblemet har varit detsamma i femtio år men situationen beskrivs som förvärrad av tre anledningar.

- 1) Ökat beroende av importerade insatsmedel.
- 2) Produktionsöverskott har ersatts med produktionsunderskott.
- 3) "*Just-in-time*" – filosofin har gjort gårdarna mer beroende av täta transporter istället för att lagra insatsvaror på gården.

Svenskproducerad DME av svenska råvaror skulle kunna förändra den säkerhetspolitiska utgångspunkten för Sverige i en kris genom att se tillgodose jordbruket med lokalproducerat drivmedel. Detta skulle underlätta att erhålla en hög

livsmedelsproduktion under en eventuell kris där importerade drivmedel är begränsade eller ekonomiskt kostsamma.

I resultatet nämndes ett tredje odlingssystem, biointensiv odling och dess fördelar. Detta odlingssystem påstås vara mer energi-, vatten-, och markeffektivt än både det konventionella och ekologiska jordbruket. Därför bör biointensiv odling undersökas vidare i förhållande till ökade skördar, lägre energiförbrukning och andra fördelar som minskat gödsel- och bevattningsbehov. Det intressanta är att med högre skördar och mindre energi-användning ökar både möjligheten att frigöra mark till ökad matproduktion, skogsbruk, bioenergi eller andra ändamål som t.ex. biotopskydd. Detta samtidigt som jordbruket hade fått en minskad efterfrågan på drivmedel och på så sätt inte behöver ta lika stora arealer i anspråk för att tillgodose energiförsörjningen. Detta bör undersökas vidare för att se vilka grödor som bäst passar in i ett biointensivt odlingssystem och vad en ökad biointensiv produktion teoretiskt hade haft för effekt på tillgången på energi och livsmedel.

Jordbruket i Sverige är i behov av förnyelsebar energi på grund av politiska beslut om minskad användning av fossila bränslen. Men även ur ett beredskapsperspektiv behövs mer inhemsk produktion av biodrivmedel. Samtidigt producerar Sverige biomassa motsvarande 140 TWh bioenergi årligen (2014). Jordbrukets energibehov år 2009 beräknades till 9,2 TWh, vilket korresponderar till cirka 6,6 % av den årligt producerade bioenergin. Det går såklart inte att jämföra olika energislag med varandra utan att gå in på detaljer, men mycket av jordbrukets energibehov bör teoretiskt kunna utvinnas ur svensk biomassa, med dagens tekniska framsteg. Den här studien har visat att det finns gott om biomassa tillgänglig i Sverige som kan användas för produktion av DME. Den potentiella mängden DME som går att producera i Sverige innehåller tillräckligt med energi för att täcka jordbrukets behov av drivmedel och mer därtill. Tekniken för att konvertera biomassa till användbara drivmedel finns men utnyttjas inte i någon större grad idag. Ändå finns det så mycket som 22 TWh potentiell DME att utvinna ur den outnyttjade svartlut som bildas i pappersmassabrukens produktion. Till detta bör även nämnas att Sverige hade 131 700 hektar åkermark i träda 2019, d.v.s mark som inte används (Jordbruksverket, 2019). Denna mark bör ses som potentiella ytor för biomassaproduktion och vidare potentiell produktion av DME. 2019 fanns det även 1 163 700 hektar odling av vall och grönfoder varav det beräknas finnas cirka 200 000 – 300 000 hektar överodling av vall (Jordbruksverket, 2019; Johnsson, 2017). Denna överodling bör även kunna användas för produktion av biodrivmedel.

Det borde ligga i samhällets intresse att jordbrukets omställning till fossilfritt och förnyelsebart ska kunna ske med låg klimatpåverkan men också genom att utnyttja de resurser som redan finns lokalt i Sverige. Detta bör ge andra länder större möjlighet att själva använda sina lokala tillgångar på biomassa till att ställa om jordbruk och sedan vidare andra samhällssektorer. Att introducera svensk biomassabaserad dimetyleter som framtidens förnybara drivmedel till tunga maskiner och fordon, skulle möjliggöra för det svenska jordbruket att bli oberoende importerade drivmedel, ta ett stort steg mot klimatneutralitet och samtidigt bli självförsörjande på drivmedel.

Om jordbruket producerar biomassa som betraktas som restprodukter på en nivå som skulle kunna täcka den egna sektorns energibehov med förnyelsebar energi, bör inte politiker utreda vad som hindrar en sådan utveckling? Dessutom kan jordbruket, med den energi som potentiellt blir överflödigt, förse andra sektorer med förnyelsebar energi. Tekniken och kunskapen finns för att konvertera biomassa till ett drivmedel som DME, som kan användas i befintliga maskiner, efter enklare ombyggnationer. Bör det inte ligga i samhällets intresse att genomföra satsningar som möjliggör att jordbruket kan frigöra och använda denna energi? Möjligheterna är goda för att ställa om jordbruket till fossilfritt, och oberoende av importerade drivmedel.

DME bör ses som en mycket stor möjlighet för både jordbruket, men också andra branscher med tunga maskiner, såsom transportsektorn och byggsektorn, att med enkelhet ställa om från fossila bränslen. Med hög reducering av utsläpp av växthusgaser, väldigt stor reducering av skadliga avgaser som NOx och partiklar och med möjlighet att få negativa utsläpp av koldioxid om bränsleproduktionen använder biomassa som annars skulle kunna leda till utsläpp av t.ex. metan till atmosfären, är DME ett utmärkt bränsle för en fossilfri framtid.

Förslagsvis bör vidare studier genomföras för att jämföra olika tekniker som finns i dagsläget för att se vilka som presterar bäst. En studie där traktorer för alla typer av förnybara bränslen jämförs utifrån hur användarvänliga de är och hur de presterar, förslagsvis med jordbrukare som utförare. En sådan studie skulle ge en tydligare bild hur DME står sig som drivmedel till traktorer jämfört med till exempel elektricitet, vätgas, metan (LBG och CBG), HVO, FAME eller andra *dual-fuel* system. Om dagens tekniskt utvecklade maskiner eller potentiell ny teknik jämförs, kan bättre slutsatser dras om vilket förnybart bränsle som jordbruket bör använda i framtiden.

5 Slutsats

DME kan tillverkas av biomassa i Sverige i stor utsträckning. Det är tekniskt möjligt att använda DME som drivmedel i de flesta av jordbrukets maskiner. En bred användning av DME, producerad från förnybar råvara, skulle resultera i minimala utsläpp av växthusgaser från jordbrukets maskinanvändning. Effektivare resursanvändning och odling kan öka tillgången på biomassa i Sverige och således den potentiella DME-produktionen. Att använda DME istället för andra biodrivmedel i jordbruket skulle innebära en lägre förbrukning av resurser när maskiner kan konverteras istället för nyinköp av annan teknik.

Realismen i ovan nämnda påståenden ligger i handen på investerare, politiker och andra beslutsfattare. Hur tekniken utvecklas genom att till exempel bli mindre kostsam och beslut kring politiska styrmedel, infrastruktursatsningar och politisk långsiktighet är avgörande för om satsningar på DME ska äga rum. Om rådande utveckling idag fortskrider kommer förmodligen samhället investera i andra riktningar som kan göra framtida investeringar i DME mindre aktuella. Ett moment 22 kvarstår, ingen vill investera i anläggningar för DME-produktion om det inte finns någon efterfrågan från de potentiella användarna. Inga potentiella användare vill investera och konvertera sina maskiner till DME-drift om inte det finns någon produktion eller distribution av DME i närheten.

Det svenska jordbrukets behov av förnybara drivmedel kan tillgodoses med svenskproducerad DME. Vidare studier krävs för att undersöka kostnader och andra hinder. Faktum kvarstår att trots att DME presterar bra i dieselmotorer så har det ännu inte konstruerats någon jordbruksmaskin för DME.

6 Referenslista

6.1 Referenser

- AGA (2017). *SÄKERHETSBLAD Dimetyleter*. [Broschyr]. Tillgänglig: https://www.aga.se/sv/images/Dimetyleter_1.0_SE_tcm586-443508.pdf Hämtad: 3/10 2019.
- ATL (2012). Domsjös nya ägare struntar i DME. *Lantbrukets affärstidning*, 26 maj. Tillgänglig: <https://www.atl.nu/skog/domsjos-nya-agare-struntar-i-dme/>
- Ahlgren, S. (2009). *Crop production without fossil fuels*. SLU Ultuna. Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/2151/1/Ahlgren_S_20091125.pdf Hämtad: 25/4 2019
- Ahlgren, S., Björnsson, L., Lantz, M., Prade, T. (2017). *Biodrivmedel och markanvändning i Sverige*. Lunds universitet. Tillgänglig: http://lup.lub.lu.se/search/ws/files/33712989/Ahlgren_mfl_Rapport_105_Milj_och_Energisystem_LTH.pdf Hämtad: 16/9 2019
- Antonson, H., Jansson, U. (2011). *Agriculture and forestry in Sweden since 1900: geographical and historical studies*. Stockholm: Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry.
- Baky, A. (2016). *Kartläggning av förnyelsebara drivmedel för jordbruket*. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Tillgänglig: Hämtad:
- Bell, B. (1999). *Fifty years of farm tractors*. Farming press, Storbritannien.
- Bergantini, A., Maksyutenko, P., Kaiser, R.I. (2017). On the Formation of the C₂H₆O Isomers Ethanol (C₂H₅OH) and Dimethyl Ether (CH₃OCH₃) in Star-forming Regions. *The Astrophysical Journal*, vol. 841, ss. 96. Tillgänglig: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa7062>
- Bhide, S., Morris, D., Leroux, J., Wain, K.S., Perez, J.M., Boehman, A.L. (2003). Characterization of the Viscosity of Blends of Dimethyl Ether with Various Fuels and Additives. *Energy & fuels*, vol. 17, ss. 1126 – 1132. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1021/ef030055x>
- Biofuel (2019a). *First generation biofuels*. Tillgänglig: <http://biofuel.org.uk/first-generation-biofuel.html> Hämtad: 11/12 2019

Biofuel (2019b). *Second generation biofuels*. Tillgänglig: <http://biofuel.org.uk/second-generation-biofuels.html> Hämtad: 11/12 2019

Biofuel (2019c). *Third generation biofuels*. Tillgänglig: <http://biofuel.org.uk/third-generation-biofuels.html> Hämtad: 11/12 2019

Biofuel (2019d). *What is syngas?*. Tillgänglig: <http://biofuel.org.uk/what-is-syngas.html> Hämtad: 16/12 2019

Björnsson, L., Lantz, M., Murto, M., Davidsson, Å. (2011). *Biogaspotential i Skåne – inventering och planeringsunderlag på översiktsnivå*. Malmö: Länsstyrelsen i Skåne län. (Rapport 2011:22) Tillgänglig: https://www.lansstyrelsen.se/download/18.840e7ca163033c061f1b2e0/1526068838041/Biogaspotential_i_Skane_111114.pdf Hämtad: 18/12 2019

Börjesson, P., Lundgren, J., Ahlgren, S., Nyström, I. (2013). *Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel - Underlagsrapport från f3 till utredningen om FossilFri Fordonstrafik*. (f3 Report; Vol. 2013:3). The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels. Tillgänglig: <http://lup.lub.lu.se/search/ws/files/5453884/5426582.pdf> Hämtad: 18/12 2019

Dalai, A.K., Naik, S.N., Goud, V.V., Rout, P.K. (2009). Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* vol. 14, ss. 578-597. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>

Edin, U. (2009). Blåsta på världens första DME-fabrik. *Piteå-tidningen*, 29 juni. Tillgänglig: <https://www.pt.se/nyheter/blasta-pa-varldens-forsta-dme-fabrik-4720721.aspx> Hämtad: 17/12 2019

Ekonomifakta (2017). *Växthusgaser per sektor*. Tillgänglig: <https://www.ekonomifakta.se/fakta/miljo/utslapp-i-sverige/vaxthusgaser/> Hämtad: 27/11 2019

Ekstrand, R., Hemming, J-G. (2014). Biogasen är en återvändsgränd. *Dagens samhälle* 14 januari. Tillgänglig: <https://www.dagenssamhalle.se/debatt/biogasen-aer-en-atervaendsgraend-5633> Hämtad: 10/12 2019

Energigas Sverige (2019). *Vad är biogas?*. Tillgänglig: <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/vad-aer-biogas/> Hämtad: 3/10 2019.

Energimyndigheten (2019a). *Statistikdatabas*. Tillgänglig:
<https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/?rxid=2317b153-6985-401d-96e3-354d614f9cde> Hämtad: 19/12 2019

Energimyndigheten (2019b). *Drivmedel 2018*. Sveriges energimyndighet (Rapportserie ER 2019:14) Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/hallbara-branslen/publikationer/drivmedel-2018.pdf?ResourceId=5753> Hämtad: 20/9 2019

ETIP Bioenergy (2019). *Demonstration of BioDME - Dimethyl ether as an advanced biofuel at industrial scale*. Tillgänglig: <http://www.etipbioenergy.eu/value-chains/products-end-use/products/biodme> Hämtad: 17/12 2019

European Commission. Joint Research Centre (2014a). *WELL-TO-TANK Report Version 4.a*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. JRC Technical Reports. (Rapport EUR 26237 EN). Tillgänglig: doi:10.2790/95629

European Commission. Joint Research Centre (2014b). *WELL-TO-WHEELS Report Version 4.a*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. JRC Technical Reports. (Rapport EUR 26236 EN). Tillgänglig: doi:10.2790/95533

European Commission (2016). *Well-to-Wheels Analyses*. Tillgänglig:
<https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/activities/wtw> Hämtad: 17/12 2019

European Commission (2019). *Production of DME from biomass and utilisation as fuel for transport and for industrial use*. Tillgänglig:
<https://cordis.europa.eu/project/rcn/90341/factsheet/en> Hämtad: 10/12 2019

F3centre (2017). *Biomass based Dimethyl ether, DME*. [faktablad]. Göteborg: F3centre
Tillgänglig: https://f3centre.se/app/uploads/fuel_fact_sheet_2_dimethyl_ether_170427.pdf
Hämtad: 02/12 2019.

FLEDGED (2019). *WP 6 – Risk and sustainability analysis*. Tillgänglig:
<http://www.fledged.eu/project-structure/wp6/> Hämtad: 17/12 2019

Fogas (2019). *Gasol reduceringsventil*. Tillgänglig: <http://www.fogas.se/installationsmaterial/reduceringsventil.html> Hämtad: 02/12 2019

Foit, S.R., Vinke, I.C., de Haart, G.J., Eichel, R.A. (2016). Power-to-Syngas: An Enabling Technology for the Transition of the Energy System?. *Angewandte Chemie*, vol. 56, ss. 5402 – 5411. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1002/anie.201607552>

Fortier, J.M. (2014). *The market gardener: a successful grower's handbook for small-scale organic farming*. Gabriola Island, British Columbia: New Society Publishers

Gasification Technologies Council (2014). *GASIFICATION THE WASTE-TO-ENERGY SOLUTION*. Arlington: Gasification Technologies Council [Broschyr]. Tillgänglig: https://www.globalsyngas.org/uploads/downloads/GTC_Waste_to_Energy.pdf Hämtad: 20/12 2019

GTI (2019). *Software and reports*. Tillgänglig: <https://www.gti.energy/software-and-reports/> Hämtad 17/12 2019

Göthe, L. (2013). *Metanutsläpp i den svenska fordonsgaskedjan - En nulägesanalys*. Malmö: Svenskt Gastekniskt Center AB. (SGC Rapport 2013:282). Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/C_SGC2013-282.pdf Hämtad: 18/12 2019

Happonen, M. (2012). *Particle and NOx emissions from HVO-fuelled diesel engine*. Diss. Tampere: Tampere University of Technology.

Hedell, O. (1994). *Från Munktells till Valmet – en 75-årig traktorepok*. Media nova, Stockholm.

Holm, M. (2018). Lyckad satsning på biokol – produktionen kan sexdubblas. *Dagens ETC*, 14 december. Tillgänglig: <https://www.etc.se/klimat/lyckad-satsning-pa-biokol-produktionen-kan-sexdubblas> Hämtad: 05/12 2019

Holm, O. (2012). Lovande framtid för Bio-DME som fordonsbränsle. *MotorMagasinet* 16 mars. Tillgänglig: https://www.motormagasinet.se/article/view/414418/lovande_framtid_for_biodme_som_fordonsbransle Hämtad: 10/12 2019

Huang, Y., Wang, S., Zhou, L. (2008). Effects of Fischer-Tropsch diesel fuel on combustion and emissions of direct injection diesel engine. *Frontiers of Energy and Power Engineering in China*, vol. 2, ss. 261-267. Tillgänglig: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11708-008-0062-x> Hämtad: 16/12 2019

International DME Association (2019). *Meet the experts*. Tillgänglig: <https://www.aboutdme.org/index.asp?bid=577> Hämtad 04/12 2019

IRENA (2019). *Advanced biofuels. What holds them back?*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Tillgänglig: https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Advanced-biofuels_2019.pdf Hämtad: 03/12 2019

Jandovský, M. (2011). *Inga miljövinster med ekologisk produktion? - Lägesrapport över den svenska jordbruksdebatten*. Södertörns högskola. Institutionen för livsvetenskaper. Tillgänglig: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:sh:diva-13863> Hämtad: 19/12 2019

Jeavons, J. (2017). *How to grow more vegetables (and fruits, nuts, berries, grains, and other crops) than you ever thought possible on less land than you can imagine*. 9.e utgåvan. Berkely, Kalifornien: Random House Usa Inc.

Johansson, A.C. (2018). Hur klimatsmart är egentligen ekomaten?. *Svenska Dagbladet*, 29 december. Tillgänglig: <https://www.svd.se/av/ann-cathrine-johnsson-4yez> Hämtad: 19/12 2019

Johansson, B. (2007). *Bioenergi: till vad och hur mycket?*. Stockholm: Formas

Johansson, A-C., Hanarp, P. (2013). *Konvertering av biogas till metanol eller DME på gårdsnivå*. Rapport nr 2013:17, f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. Tillgänglig: https://hushallningssallskapet.se/wp-content/uploads/2015/05/2014_info_pop_f3-rapport-2013-17_konvertering-av-biogas-till-metanol-och-dme-gardsniva.pdf Hämtad: 4/10 2019

Johnsson, B. (2017). *Jordbruksmarken i (världen) och i Sverige och dess roll för livsmedelsförsörjningen*. [Presentation]. Tillgänglig: <https://www.ksla.se/wp-content/uploads/2017/02/B-Johnsson-.pdf> Hämtad: 11/02 2020

Jordbruksverket (2018). *Jordbruksföretag i lantbruksregistret och företagsregistret. Klassificering, sysselsättning och kombinationsverksamhet 2016 [Elektronisk resurs]*. Stockholm: Statistiska centralbyrån. (Serie JO 34 SM 1801). Tillgänglig: https://www.scb.se/contentassets/26d152f24d67428d8c36f083268bf8df/jo0106_2016a01_sm_jo34sm1801.pdf Hämtad: 27/11 2019

Jordbruksverket (2019). *Jordbruksmarkens användning 2019. Slutlig statistik. [Elektronisk resurs]*. Stockholm: Statistiska centralbyrån. (Serie JO 10 SM 1901). Tillgänglig: http://share.scb.se/OV9997/data/jo0104_2019a01_sm_jo10sm1902.pdf Hämtad: 11/02 2020

Kandemir, T., Schuster, M.E., Senyshyn, A., Behrens, M., Schlögl, R. (2013). The Haber–Bosch Process Revisited: On the Real Structure and Stability of “Ammonia Iron” under Working Conditions. *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 52 (48), ss. 12723–12726 Weinheim: WILEY-VCH Verlag. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1002/anie.201305812>

Karlsson, A.M. (2015) Jordbrukarna använde 269 000 kubikmeter diesel till traktorer och tröskor m.m. år 2013. *Jordbruket i siffror*. [Blogg]. 30 augusti. Tillgänglig: <https://jordbruketisiffror.wordpress.com/2015/08/30/jordbrukarna-anvander-269-000-kubikmeter-diesel-till-sina-fordon/> Hämtad: 13/12 2019

Kirchmann, H., Bergström, L. (2008). *Organic crop production: ambitions and limitations*. Springer. Tillgänglig: DOI 10.1007/978-1-4020-9316-6

Kommissionen mot oljeberoende (2006). *På väg mot ett oljefritt Sverige* [Elektronisk resurs]. Stockholm: Statsrådsberedningen, Regeringskansliet. Tillgänglig: <https://www.regeringen.se/49b6b2/contentassets/780b0a7cf1094cd59e779f0879a591fd/pa-vag-mot-ett-oljefritt-sverige> Hämtad: 17/12 2019

Kousoulidou, M., Dimaratos, A., Karvountzis, KA., Samaras, Z. (2013). Combustion and emissions of a common-rail diesel engine fueled with HWCO. *American Society of Civil Engineers* vol. 140, ss. A4013001-1 - A4013001-9. Tillgänglig: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000154](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000154)

Källmén, A., Andersson, S., & Rydberg, T. (2019). WELL-TO-WHEEL LCI DATA FOR HVO FUELS ON THE SWEDISH MARKET. Tillgänglig: https://f3centre.se/app/uploads/f3-23-17_2019-04_Kallmén-et-al_Rev_190508_FINAL.pdf Hämtad: 20/12 2019

Lindfors, A., Eklund, M., Peltonen Ramkvist, E. (2018). Östergötlands potential för biodrivmedelsproduktion och utökad elektrifiering: Delprojektrapport delprojekt 2: Hållbara transporter i Östergötland. Tillgänglig: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1369781&dswid=-1927> Hämtad: 20/12 2019

LRF Konsult (2017). *Lantbrukets lönsamhet specialrapport*. [Elektronisk resurs]. Utgivare: LRF Konsult. Tillgänglig: <https://docplayer.se/50291341-Lantbrukets-lonsamhet.html> Hämtad: 19/12 2019

Löwnertz, P. (2011). *Drivmedel från skogen*. [Presentation]. Tillgänglig: <https://www.ksla.se/wp-content/uploads/2011/09/Patrik-Loewnerz.pdf> Hämtad: 16/12 2019

Martin, O. (2007). *French-Intensive Gardening: A Retrospective*. For the Gardner series. Center for Agroecology & Sustainable Food Systems. Tillgänglig: https://casfs.ucsc.edu/documents/for-the-gardener/French_Intensive.pdf Hämtad: 19/12 2019

Miljöfordon.se (2017). *Förnybara drivmedel*. Tillgänglig: <https://www.miljofordon.se/tanka/foerneybara-drivmedel/> Hämtad: 11/12 2019

Miljöfordon.se (2019). *Tanka HVO*. Tillgänglig: <https://www.miljofordon.se/tanka/tanka-hvo/> Hämtad: 20/12 2019

MSB (2011). *Tankstationer för metangasdrivna fordon*. Myndighet för samhällsskydd och beredskap. Publikation nr MSB277. Tillgänglig: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/25946.PDF> Hämtad: 16/10 2019

Naturvårdsverket (2018). *Sverige utan nettoutsläpp av växthusgaser 2050*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/fardplan2050> Hämtad: 13/9 2019

Naturvårdsverket (2019a). *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Klimat/Sveriges-klimatlag-och-klimatpolitiska-ramverk/> Hämtad: 14/1 2020

Naturvårdsverket (2019b). *Koldioxidekvivalenter*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-fran-exporterande-foretag/Koldioxidekvivalenter/> Hämtad: 06/12 2019

Nikoleris, A; Nilsson, L.J. (2013). *Elektrobränslen - en kunskapsöversikt*. Lund: Lunds tekniska högskola. Rapport nr 85. Tillgänglig: <https://www.regeringen.se/contentassets/7bb237f0adf546daa36aaf044922f473/underlagsrapport-15---electrofuels.pdf> Hämtad: 11/12 2019.

Oberon Fuels (2019). *The Process*. Tillgänglig: <http://oberonfuels.com/technology/oberon-process/> Hämtad: 04/12 2019

Prade, T., Björnsson, L., Lantz, M., Ahlgren, S. (2017). *Can domestic production of iLUC-free feedstock from arable land supply Sweden's future demand for biofuels?*. Journal of Land Use Science, vol.12, ss. 407-441. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1080/1747423X.2017.1398280>

RISE (u.å.). Nytt oljerecept fick bränslet att fungera. Tillgänglig:
<https://www.ri.se/sv/berattelser/nytt-oljerecept-fick-branslet-att-fungera> Hämtad: 10/12 2019

Röös, E. (2017). Den hållbara gården – finns den?. *Framtidens lantbruk*. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet. Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/14576/11/roos_e_170925.pdf
Hämtad: 19/12 2019

Salomonsson, P (2013). *Final Report of the European BioDME Project*. [Presentation]. 5th International DME Conference Ann Arbor, April 18. Tillgänglig:
http://www.biodme.eu/wp/wp-content/uploads/DME5_BioDME_Salomonsson.pdf Hämtad: 17/12 2019

Semelsberger, T.A., Borup, R.L., Greene, H.L. (2006). Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel. *Journal of Power Sources*, vol. 156, ss. 497-511. Tillgänglig:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775305007846> Hämtad: 3/10 2019.

Sidén, G. (2015). *Förnybar energi*. 2. uppl. Lund: studentlitteratur AB.

Skogsindustrierna (u.å.). [Broschyr]. Stockholm: Skogsindustrierna. Tillgänglig:
<https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/rapporter/fordonsbransle-fran-skogsravara.pdf> Hämtad: 09/12 2019

Skogsindustrierna (2019). *Sverige och världens skogar*. Tillgänglig:
<https://www.skogsindustrierna.se/skogsindustrin/branschstatistik/sveriges-och-varldens-skogar/> Hämtad: 13/12 2019

SodaStream (2011). *SodaStream Carbon Dioxide cylinder*. Tillgänglig:
https://www.clasohlson.com/medias/sys_master/9543017955358.pdf
Hämtad: 03/12 2019

SPBI.se (2018). *HVO – Hydrogenated Vegetable Oil*. Tillgänglig:
<https://spbi.se/uppslagsverk/fakta/drivmedel/fornybara-drivmedel/hvo-hydrogenated-vegetable-oil/> Hämtad: 20/12 2019

SCB (2019). *Sveriges befolkning*. Tillgänglig:
<https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/sveriges-befolkning/>
Hämtad: 27/11 2019

Sveriges Lantbruksuniversitet. (2018). *Livsmedelsproduktion ur ett beredskapsperspektiv*. SLU Future Food Reports 1. Tillgänglig: <https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/fu->

food/forskning/rapporter/ff-reports-1_eriksson_livsmedelsproduktion-ur-ett-beredskapsperspektiv.pdf Hämtad: 7/11 2019

Sveriges Åkeriföretag (2019). *FAQ*. Tillgänglig: <https://klimat.akeri.se/help> Hämtad: 02/12 2019

Swedegas (2019). *Fakta om biogas*. Tillgänglig: https://www.swedegas.se/gas/biogas/fakta_om_biogas Hämtad: 3/10 2019.

Trafikverket (2017). *Klimatsmarta val av tunga fordon*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/energi-och-klimat/Klimatsmarta-val-av-tunga-fordon/> Hämtad: 11/12 2019

TRB Sverige AB (2019). *Förgasningsteknik*. Tillgänglig: <https://trb.se/f%C3%B6rgasningsteknik/> Hämtad: 3/10 2019.

Utredningen om jordbruket som bioenergiproducent (2007). *Bioenergi från jordbruket - en växande resurs*: [Betänkande]. Stockholm: Fritze (SOU 2007:36). Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/rattsdokument/statens-offentliga-utredningar/2007/05/sou-200736/> Hämtad: 16/12 2019

Vetandets värld (2010). Grållen – traktorn som revolutionerade jordbruket. [Radioprogram]. Producent: Pelle Zettersten. Sveriges Radio, P1 23 februari.

Volvo Trucks Corporation (u.å.). *VOLVO BIO-DME*. [Broschyr]. Sverige: Volvo. Tillgänglig: https://www.aboutdme.org/aboutdme/files/ccLibraryFiles/Filename/000000002392/BioDME_Volvo_brochure.pdf Hämtad: 04/12 2019

Wirsenius, S. (2018). Ekologisk mat är sämre för klimatet. *Forskning.se*, 12 december. Tillgänglig: <https://www.forskning.se/2018/12/12/ekologisk-mat-ar-samre-for-klimatet/> Hämtad: 19/12 2019

Worldwatch Institute (2007). *Biofuels for transport: global potential and implications for sustainable energy and agriculture*. London: Earthscan

Yao, Z., You, S., Ge, T., & Wang, C.H. (2018). Biomass gasification for syngas and biochar co-production: Energy application and economic evaluation. *Applied Energy*, vol. 209, ss. 43–55. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917315003> Hämtad: 05/12 2019

Österman, P. (2017). *Miljöorganisationer vill stoppa HVO*. ATL, Lantbrukets affärstidning. 15 mars. Tillgänglig: <https://www.atl.nu/entreprenad/miljoorganisationer-vill-stoppa-hvo/>
Hämtad: 11/12 2019

6.2 Icke publicerat material

Henrik Salsing, Teknisk Doktor i Termo- och fluiddynamik, Volvo GTT, intervju 2019-11-12

Henrik Salsing, Teknisk Doktor i Termo- och fluiddynamik, Volvo GTT, mail 2019-11-29

Rebecca Boudreaux, Kemist, Ordförande och Chef, Oberon Fuels, mail 2019-12-18